

**INTEGRATIE VAN GPS, GIS EN INTERNET VOOR HET METEN VAN  
VERPLAATSINGSGEDRAG**

Wendy Bohte, Kees Maat en Wilko Quak, onderzoeksinstituut OTB, TU Delft,  
w.bohte@tudelft.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2006,  
23 en 24 november 2006, Amsterdam

## **Inhoudsopgave**

Samenvatting .....	3
<b>1. Inleiding .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Dataverzameling via GPS .....</b>	<b>6</b>
2.1 De mogelijkheden van dataverzameling via GPS .....	6
2.2 (Huidige) tekortkomingen van dataverzameling via GPS .....	7
2.3 Het verzamelen van aanvullende informatie via de respondenten .....	9
2.4 Het verzamelen van aanvullende informatie door het combineren van GPS- en GIS-gegevens .....	10
<b>3. Integratie van GIS, GPS en een webapplicatie .....</b>	<b>12</b>
3.1 De keuze voor integratie van GIS, GPS en een webapplicatie .....	12
3.2 De GPS-ontvanger .....	12
3.3 De Post-GIS database .....	13
3.4 De gebruikersinterface van de webapplicatie .....	16
<b>4. Conclusie .....</b>	<b>19</b>
Referenties .....	21

## Samenvatting

### *Integratie van GPS, GIS en internet voor het meten van verplaatsingsgedrag*

Sinds enkele jaren wordt er in onderzoek naar verplaatsingsgedrag geëxperimenteerd met het verzamelen van data via GPS. Met een GPS-ontvanger kan via signalen van satellieten de positie op aarde met een nauwkeurigheid van ongeveer 10 meter geregistreerd worden. Een ontvanger registreert volgens ingestelde intervallen de coördinaten van zijn locatie en koppelt hieraan de tijd waarop hij zich op deze posities bevond. Door respondenten een GPS-ontvanger mee te geven, kan hun verplaatsingsgedrag daarom gedetailleerd gevolgd worden.

Dataverzameling via GPS is veel nauwkeuriger en minder belastend voor respondenten dan traditionelere methoden van dataverzameling zoals het verzamelen van gegevens via papieren dagboekjes. Omdat geregistreerd wordt waar en hoe laat men zich ergens bevond, is nauwkeurig te achterhalen welke afstanden men heeft gereisd, hoe lang en op welke tijdstippen is gereisd en met welke snelheden men zich heeft verplaatst.

De belasting van de respondent is beperkt, omdat er gedurende de dag geen gegevens hoeven worden bijgehouden. Bovendien kunnen er vanwege de lage belasting gegevens over meerdere dagen worden ingewonnen. Het meedragen van de ontvanger en het geregeld moeten opladen van de accu zijn nog wel enigszins belastend. Maar omdat de ontvangers steeds kleiner en lichter worden en de accu's een grotere capaciteit krijgen, zal deze belasting in de nabije toekomst verminderen.

Naast de gegevens die via GPS verzameld worden, zullen er nog aanvullende gegevens verzameld moeten worden om het verplaatsingspatroon van respondenten in kaart te kunnen brengen. Een ontvanger kan om verschillende redenen af en toe geen ontvangst hebben, waardoor er (delen van) trips kunnen missen. Daarnaast is het onmogelijk om via GPS gegevens als het vervoermiddelengebruik en het type bestemmingen dat bezocht is te registreren.

In meerdere pilot-studies naar dataverzameling via GPS is geëxperimenteerd met verschillende manieren van het verzamelen van de benodigde aanvullende informatie: achteraf of gedurende de dagen van het veldwerk, en op papier, via internet, telefonisch of door koppeling met een PDA. Het is ook mogelijk om een deel van de benodigde informatie met behulp van GIS-gegevens af te leiden. Wanneer de route van een respondent bekend is, kan via kaarten van spoorwegen en wegen gezien worden of men zich over het spoor en dus met de trein verplaatst heeft. Wanneer locaties van voorzieningen bekend zijn, kunnen deze vergeleken worden met de coördinaten van de locaties die de respondenten bezocht hebben.

In de in het paper beschreven methode, die op dit moment door het onderzoeksinstituut OTB ontwikkeld wordt, is er voor gekozen de respondent tijdens de periode dat zijn verplaatsingsgedrag geregistreerd wordt, alleen een GPS-ontvanger bij zich te laten dragen. Na afloop van deze periode wordt gevraagd via een webapplicatie aanvullende informatie te geven. De last voor de respondent wordt zoveel mogelijk beperkt door de gelogde data voordat de respondent ze te zien krijgt, eerst met behulp van GIS-data te bewerken.

## 1. Inleiding

Ruimtelijke- en vervoersplanners maken in hun ontwerpen al sinds lange tijd gebruik van onderzoek naar verplaatsingsgedrag waarin verplaatsings- en activiteitenpatronen in kaart worden gebracht en geanalyseerd. Het zo exact mogelijk verzamelen van de tijden en locaties van de verplaatsingen die individuen maken, heeft dan ook een belangrijke plaats ingenomen in het onderzoek naar verplaatsingsgedrag.

Een nieuwe dataverzamelmethode, waarvan hoge verwachtingen bestaan, is data-inwinning via het Global Positioning System (GPS). Deze techniek bepaalt aan de hand van signalen van satelieten de positie van een GPS-ontvanger op aarde met een nauwkeurigheid van ongeveer 10 meter. Een GPS-ontvanger registreert volgens ingestelde intervallen de coördinaten van de locatie van de respondent en koppelt hieraan de tijd waarop hij zich op deze posities bevond. Deze gegevens kunnen worden opgeslagen en vervolgens in een GIS-applicatie worden weergegeven op een kaart en verder worden geïnterpreteerd.

Dataverzameling via GPS heeft een aantal belangrijke voordelen ten opzichte van de, op dit moment vaak gebruikte, dagboekjesmethode, waarbij respondenten op papier hun verplaatsingen bijhouden. Ten eerste is de belasting van de respondent veel geringer, hetgeen niet alleen een reducerend effect heeft op de non-respons, maar waardoor tevens gegevens over een langere periode dan enkele dagen kunnen worden ingewonnen. Dit is een belangrijk voordeel omdat verplaatsingspatronen steeds gevarieerder worden in tijd en ruimte (o.a. door parttime- en thuiswerken), waardoor ritmes ook steeds verder uitrekken. Ten tweede kan de accuratesse en volledigheid van deze methode op geen enkele wijze worden benaderd door conventionele papieren dagboekjes. Het is zelfs zo dat niet alleen de exacte herkomsten en bestemmingen van de verplaatsingen worden geregistreerd, inclusief de bijbehorende tijdstippen, maar ook de precieze route kan worden gevolgd.

Dataverzameling via GPS is tot op heden in enkele, veelal experimentele, onderzoeken toegepast. In de USA zijn enkele voorbeelden waarbij GPS-ontvangers in auto's zijn geplaatst, deels ter bestudering van het veiligheidsgedrag van de bestuurders. Daarnaast zijn enkele vergelijkingen uitgevoerd met een papieren dagboekje (zie Lee-Gosselin, 2002). Slechts in weinig gevallen is een individueel gedragen GPS-ontvanger meegegeven, waardoor ook verplaatsingen met andere vervoermiddelen konden worden geregistreerd (Draijer et al., 2000; Steer Davies Gleace en Geostats, 2003). Met het beschikbaar komen van lichtgewicht

GPS-ontvangers, met bovendien een steeds betere ontvangst, neemt recent het gebruik van GPS in onderzoek in hoog tempo toe (Waag, 2002; Janssens en Wets, 2006).

Niettemin kleven er nog wel nadelen aan het gebruik. Een GPS-ontvanger registreert wel tijd en locaties, maar geen aanvullende gegevens, zoals het verplaatsingsmotief en het vervoermiddelengebruik, zodat een aanvullende slag noodzakelijk is. Ook is in gebouwen en binnen stedelijke gebieden het 'zicht' naar de GPS satellieten soms beperkt. Hierdoor is het mogelijk dat niet altijd en overal een plaatsbepaling van de respondent mogelijk is. Bovendien kan de ontvanger een barrière voor respondenten vormen.

Dit paper beschrijft een door het onderzoeksinstituut OTB ontwikkelde methode voor dataverzameling via GPS, waarbij door gebruik te maken van de laatste ontwikkelingen op GPS- en GIS-gebied, zonder grote concessies te doen aan de nauwkeurigheid van de data, de belasting van de respondenten zo laag mogelijk wordt gehouden. Hiervoor wordt de GPS-ontvanger zo ingesteld dat het loggen van de benodigde locatie- en tijdgegevens efficiënt gebeurt en slechts door één druk op een knop door de respondent in werking wordt gesteld.

Daarnaast worden de GPS-gegevens gekoppeld aan bestaande geografische bestanden. Door deze koppeling kan achterhaald worden welke voorzieningen waarschijnlijk bezocht zijn. Welke vervoermiddelen men gebruikt heeft kan bepaald worden door verplaatsingsnelheden af te leiden van de tijdstippen waarop de respondenten zich op verschillende locaties bevonden en vervolgens aan de hand van digitale kaarten na te gaan of verplaatsingen over de weg of over het spoor zijn gegaan.

Hoewel de GPS-data gecombineerd met GIS-data al veel informatie over het verplaatsingsgedrag van respondenten zal opleveren, blijft het echter nodig hen om aanvullende informatie te vragen. Niet alle bezochte locaties, zoals bezoek aan vrienden, of bezoek aan een locatie met multi-functioneel ruimtegebruik (sportzaal in een school, vrienden die boven een winkel wonen) is uit de verzamelde en aanwezige data te halen. Daarbij komt dat de GPS-ontvanger op sommige momenten vergeten wordt of niet gewerkt heeft.

Om deze aanvullende informatie te verkrijgen is er een webapplicatie gebouwd, waarin de met behulp van GIS afgeleide gegevens over het verplaatsingsgedrag van de respondenten in een tabel en in een kaart gepresenteerd worden. De respondenten wordt gevraagd de gegevens te controleren en indien nodig te corrigeren en/of aan te vullen.

In het vervolg van dit paper worden eerst de ontwikkelingen in dataverzameling via GPS beschreven. Daarna volgt een uitgebreide beschrijving van de voorgestelde methode.

## **2. Dataverzameling via GPS**

### **2.1 De mogelijkheden van dataverzameling via GPS**

Inmiddels zijn in het vervoersonderzoek een aantal ervaringen opgedaan met het gebruik van het Global Positioning System, kortweg GPS. Door signalen van tenminste drie satellieten (of vier satellieten wanneer ook het hoogteniveau gemeten wordt) op aarde met een GPS-ontvanger op te vangen kan de positie van een GPS-ontvanger met een nauwkeurigheid van ongeveer 10 meter worden bepaald. Met het Europese systeem Galileo, dat vanaf 2010 geactiveerd wordt, zal zelfs een nog hogere nauwkeurigheid gehaald kunnen worden. De locatie op aarde waar een GPS-ontvanger zich bevindt wordt opgeslagen in x- en y-coördinaten. Naast de coördinaten van locaties kunnen GPS-ontvangers ook de tijd waarop ze zich op deze locaties bevonden registreren. Door gebruik te maken van GPS kan een aantal tekortkomingen van de dagboekmethode gereduceerd of zelfs vermeden worden. Bovendien ontstaan een aantal geheel nieuwe mogelijkheden.

Ten eerste is de belasting van de respondent geringer, want er hoeven immers gedurende de dag geen gegevens te worden bijgehouden of te worden onthouden. Bovendien kan vanwege de geringere belasting van de respondent gemakkelijker gegevens over een gehele week in plaats van een dag worden ingewonnen. Dit is een belangrijk voordeel omdat verplaatsingspatronen sterk verschillen tussen dagen. Mensen hebben ritmes voor verschillende activiteiten, zoals op dinsdagavond sporten, op vrijdagavond naar de supermarkt, eens per halfjaar naar de tandarts.

Met het gebruik van GPS is data-inwinning ook veel nauwkeuriger. Omdat geregistreerd is waar en hoe laat men zich ergens bevond, is nauwkeurig te achterhalen welke afstanden men heeft gereisd, hoe lang en op welke tijdstippen is gereisd en met welke snelheden men zich heeft verplaatst. Bovendien komt er een extra gegeven beschikbaar dat eigenlijk nooit verzameld kon worden, namelijk de exacte route, inclusief gegevens als de exacte snelheid, vertragingen en gemaakte stops. De accuratesse en volledigheid ten aanzien van exacte locaties en tijdstippen zoals door het GPS worden geregistreerd kan op geen enkele wijze worden benaderd door conventionele papieren dagboekjes.

Deze verbeteringen worden bevestigd door verschillende onderzoeken waarin vergelijkingen worden gemaakt tussen via GPS geregistreerde data, verplaatsingsgegevens die de respondenten in papieren dagboekjes hebben bijgehouden en via telefonische interviews verkregen verplaatsingsgegevens. Vooral kleine verplaatsingen worden in telefonische

interviews en papieren dagboekjes vaak vergeten. Onderzoek van Wolf, Oliviera en Thompson (2003) laat bijvoorbeeld zien dat het totaal aantal met de auto afgelegde kilometers dat met GPS-ontvangers geregistreerd wordt, aanzienlijk hoger is dan het aantal kilometers dat respondenten per telefoon zelf inschatten. Uit een vergelijking van Forest en Pearson (2005) blijkt dat in hun onderzoek minder dan de helft van de door (in de auto geplaatste) GPS-ontvangers geregistreerde verplaatsingen gekoppeld konden worden aan in een telefonisch interview genoemde verplaatsingen. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door de slechte kwaliteit van de telefonische interviews.

Steer Davies Gleace en Geostats (2003) hebben de mogelijkheden van het verzamelen van verplaatsingsgedraggegevens via individueel gedragen GPS-ontvangers onderzocht. Hoewel de ontvangst van de GPS-ontvangers soms weg viel, bleek de kwaliteit van de data goed te zijn. De met een GPS-ontvanger gemeten tijden en locaties bleken nauwkeuriger te zijn en er werden meer trips geregistreerd dan in de papieren dagboekjes die tegelijkertijd zijn bijgehouden.

Tenslotte levert dataverzameling via GPS winst op het gebied van de verwerking van de data. De gegevens komen direct digitaal beschikbaar, waardoor tijdrovende data-invoer niet nodig is. Het ontbreken van invoerkosten bespaart aanzienlijke kosten. Bovendien worden invoerfouten vermeden.

## **2.2 (Huidige) tekortkomingen van dataverzameling via GPS**

Ondanks de snelle ontwikkelingen op GPS-gebied, kleven er aan dataverzameling via GPS echter ook nog steeds een aantal nadelen. Op dit moment moeten fabrikanten van GPS-ontvangers nog vele afwegingen maken tussen de prijs van een ontvanger, de omvang en het gewicht van de ontvanger, de accuduur en de kwaliteit van de ontvangst van de ontvanger. Een chip die voor een betere ontvangst van satellieten zorgt is vaak én duurder én verbruikt meer energie, waardoor de batterijen of accu van de ontvanger korter mee gaat. Een accu die langer mee gaat is vaak vrij groot, waardoor ook de omvang van de ontvanger zelf groter zal moeten zijn.

Hoewel de ontvangers steeds kleiner en lichter worden, zullen de respondenten ruimte in een (broek)zak of tas moeten hebben om de ontvanger bij zich te kunnen dragen. Op dit moment is de grootte van ontvangers ongeveer te vergelijken met een mobiele telefoon, maar binnenkort zullen ze niet groter zijn dan een usb-stick.

De beperkte accuduur van ontvangers heeft als gevolg dat ontvangers tijdens het veldwerk door de respondenten opgeladen zullen moeten worden. Op dit moment gaan de accu of batterijen zo'n 8 tot 30 uur mee. Wat betekent dat in het slechtste geval een GPS-ontvanger niet eens een hele dag meegaat en hij dus gedurende de dag of vaak uitgezet moet worden wanneer men zich niet verplaatst, of opgeladen moet worden. Het is echter mogelijk GPS-ontvangers zo in te stellen dat ze zo efficiënt mogelijk met de beschikbare energie omgaan (zie paragraaf 3.2).

De nauwkeurigheid van de plaatsbepaling door GPS-ontvangers hangt grotendeels samen met de kwaliteit van de ontvangst van signalen van satellieten. GPS-ontvangers moeten rechtstreeks zicht hebben op een satelliet om een correcte afstand tot de satelliet en daarmee een nauwkeurige positie op aarde te kunnen bepalen. In gebouwen en tunnels, tussen hoge gebouwen en in het openbaar vervoer is het 'zicht' naar de satellieten soms beperkt. Hierdoor kan niet altijd en overal een plaatsbepaling van de respondent plaatsvinden. Daarnaast komt het voor dat signalen niet in een rechte lijn vanuit een satelliet ontvangen worden, maar gekaatsd worden via een oppervlak. Dit probleem, bekend als multipath, kan veroorzaakt worden door verschillende materialen zoals water, glas en metaal en zelfs water in bladeren van bomen en planten (CMTINC.COM, 2000). Doordat de chips die in ontvangers zitten steeds beter in staat zijn signalen van satellieten te ontvangen, kan de plaatsbepaling aan de hand van een steeds grote aantal satellieten gebeuren. Naar mate er meer satellieten gebruikt worden om een locatie op aarde te bepalen, des te betrouwbaarder deze plaatsbepaling is. Daarnaast zijn er ook steeds meer opties om onbetrouwbare data door een slechte ontvangst uit GPS-logs te filteren (zie paragraaf 3.2).

Bij veldwerk met GPS-ontvangers, zal er veel aan gedaan moeten worden om er voor te zorgen dat respondenten niet vergeten de ontvanger bij zich te dragen. Vooral bij een dataverzameling gedurende meerdere dagen, is er zeker een kans dat hij een keer per ongeluk thuis wordt gelaten, waardoor er veel gegevens zullen missen.

Een andere belemmering bij dataverzameling via GPS kan zijn dat door de nauwkeurigheid waarmee hun verplaatsingsgedrag wordt geregistreerd, respondenten de dataverzameling als privacygevoelig beschouwen. Wel blijkt uit verschillende evaluaties van dataverzameling via GPS dit door respondenten minder als probleem te worden beschouwd dan onderzoekers van te voren verwacht hadden (Draijer et al., 2000; Steer Davies Gleace en Geostats, 2003). Daarbij is te verwachten dat de groeiende bekendheid met GPS, grotendeels



veroorzaakt door de populariteit van navigatiesystemen in de auto, er voor zorgt dat minder mensen bevreesd zijn voor de complexe technologie.

Eén van de belangrijkste nadelen van dataverzameling via GPS is dat het niet mogelijk is om alle verplaatsingsgegevens die in het algemeen van belang zijn bij onderzoek naar verplaatsingsgedrag met een GPS-ontvanger te registreren. Een ontvanger levert immers geen informatie over het type bestemming dat bezocht is en registreert ook niet met welk vervoermiddel iemand gereisd heeft. Deze informatie zal dus altijd apart verzameld moeten worden.

### **2.3 Het verzamelen van aanvullende informatie via de respondenten**

Het ontbreken van gegevens in GPS-logs over het vervoermiddelengebruik en het type bestemmingen dat bezocht is, onderbrekingen van de ontvangst van satellieten en de kans dat respondenten de ontvangers vergeten, hebben als gevolg dat voor het in kaart brengen van verplaatsingspatronen van individuen het noodzakelijk is om aanvullende gegevens te verzamelen. De benodigde aanvullende gegevens kunnen op verschillende manieren verzameld worden: achteraf of gedurende de dagen van het veldwerk, en op papier, via internet, telefonisch of door koppeling met een PDA (Personal Digital Assistant). Met al deze vormen van verzameling van aanvullende informatie is inmiddels al enige ervaring bekend.

Ohmori, Nakazato en Harata (2005) hebben in Tokyo twee pilot-studies gehouden naar met GPS ingerichte mobiele telefoons met in totaal 50 respondenten. Gegevens over het type activiteiten dat uitgevoerd werd, de locatie, vervoermiddelenkeuze en reisgezellen konden ter plekke en op het moment zelf in de telefoon uit een dropdown-list of anders in een open veld ingevuld worden. Ter vergelijking zijn ook papieren dagboekjes ingevuld. De belangrijkste conclusies uit deze vergelijking waren: dataverwerking van de GPS-data is veel sneller, respondenten voeren hun gegevens eerder in op hun mobiele telefoon dan op papier. De last voor respondenten bleek erg te variëren, afhankelijk van hun ervaring met mobiele telefoons.

In 2006 is het IMOB (Universiteit Hasselt) in Vlaanderen begonnen met een GPS-onderzoek onder 2500 Vlaamse gezinnen. Ze maken hiervoor gebruik van PDA's die zijn uitgerust met GPS-technologie. In elk huishouden draagt één persoon een week lang een GPS bij zich, de overige leden uit het huishouden houden een papieren dagboekje bij. Naast het meten van het verplaatsingsgedrag, worden de PDA's ook gebruikt om vragen te stellen over

de planning van activiteiten voor de komende dagen, zodat bekeken kan worden in hoeverre mensen hun verplaatsingen van te voren plannen en in welke mate ze zich vervolgens die planning houden (Janssens en Wets, 2006).

In een aantal onderzoeken is de respondenten gevraagd de via GPS geregistreerde gegevens achteraf aan te vullen. In een studie van Bachu, Dudala en Kothuri (2001) zijn 16 auto's van tien huishoudens 2-3 dagen lang uitgerust met een GPS-ontvanger. Nadat alle geregistreerde verplaatsingen per auto waren verwerkt in GIS-kaarten, werd de respondenten gevraagd in face-to-face gesprekken de informatie op de kaarten aan te vullen met onder andere het doel van hun verplaatsingen en het aantal mensen dat in de auto zat. Gemiddeld bleken de respondenten maar 5-6 minuten nodig te hebben om de GPS-data over drie dagen aan te vullen.

Stopher en Collins (2005) hebben in een pilot-studie onderzocht hoe dataverzameling via GPS verbeterd kan worden door een aanvulling van de data via een internetenquête. In hun onderzoek werd met de door de in hun auto ingebouwde GPS-ontvanger geregistreerde data per respondent per dag een kaart gemaakt waarop alle afgelegde routes en alle herkomsten en bestemmingen te zien zijn, zodat de respondenten ze via het internet op hun computer konden bekijken. Op de kaart konden de respondenten gemiste verplaatsingen en bestemmingen aangeven, die vervolgens gelijk verwerkt werden. Ondanks dat de internetapplicatie verschillende technische problemen opleverde, de ontwikkeltijd van de applicatie erg lang was en slechts zes huishoudens de applicaties doorlopen hebben, noemen de onderzoekers de resultaten van de test veelbelovend.

#### **2.4 Het verzamelen van aanvullende informatie door het combineren van GPS- en GIS-bestanden**

Door GPS-data in een GIS-applicatie te koppelen aan gegevens over de ruimtelijke structuur is het mogelijk om zonder extra informatie van de respondenten aanvullende informatie af te leiden. Het vervoermiddelengebruik kan voor een groot deel afgeleid worden door te bepalen wat de gemiddelde en maximale snelheden waarmee men zich verplaatst heeft waren en vervolgens na te gaan of verplaatsingen over de weg of over het spoor zijn gemaakt. Door een GIS-kaart waarop voorzieningen zijn aangegeven te koppelen aan de x- en y-coördinaten van door de respondenten bezochte locaties is al gedeeltelijk te achterhalen welke typen bestemmingen bezocht zijn.

In een pilot-studie van Wolf et al. (2001) zijn er GPS-ontvangers in de auto van 13 respondenten geplaatst. Ook moesten ze drie dagen lang een papieren dagboekje bijhouden. Uit het onderzoek blijkt dat bestemmingen en het doel van verplaatsingen goed af te leiden te zijn uit GPS-data en een uitgebreide GIS-landgebruik database. Hoewel in deze studie alleen verplaatsingen per auto geregistreerd zijn, verwachten de onderzoekers, dat hun methode ook goed bruikbaar is voor andere vervoerswijzen. Wel verwachten zij dat er waarschijnlijk altijd een behoefte zal zijn om respondenten om aanvullende informatie te vragen.

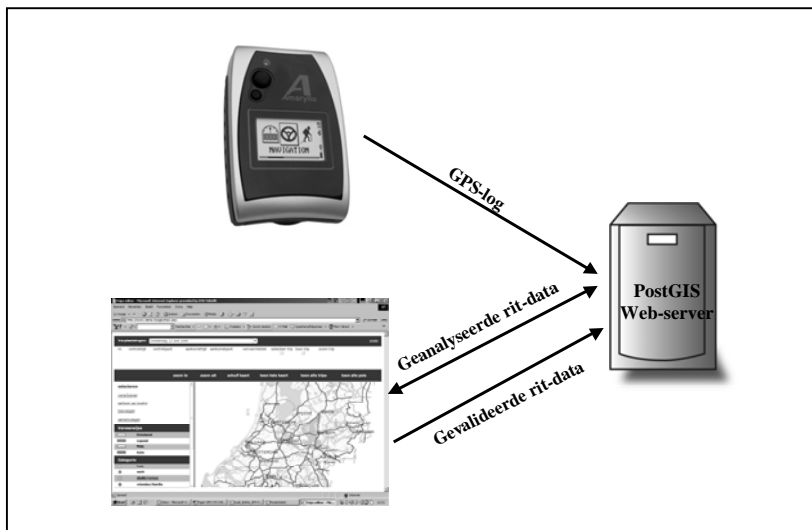
Schönfelder et al. (2002) gebruikten data uit het Zweedse onderzoek Rätt Fart ter evaluatie van het gebruik van GIS bij dataverzameling via GPS. In dit onderzoek zijn 400 privé en bedrijfsauto's gedurende twee jaar voorzien van een GPS-ontvanger. Bij het analyseren van de GPS-logs bleek het lastig te zijn om om te gaan met korte stops van één tot vijf minuten, omdat vaak niet af te leiden was of de oorzaak van stop in het verkeer (stoplichten, file) of in het uitvoeren van een activiteit door de inzittenden van de auto gezocht moest worden. Eén van de andere problemen die ze tegenkwamen was het gebrek aan gedetailleerde GIS-data van het veldwerkgebied. Zo waren niet alle wegen, maar alleen het hoofdwegen netwerk digitaal beschikbaar. Verder concluderen de onderzoekers dat, om GPS-veldwerk op grote schaal mogelijk te maken, het noodzakelijk is dat het verwerkingsproces van de data meer geautomatiseerd moet worden. Tot nu toe is hier nog weinig ervaring mee opgedaan.

Ook Chung en Shalaby (2005, University of Toronto) hebben onderzocht hoe verplaatsingen en vervoermiddelenkeuze door het opstellen van algoritmes afgeleid kunnen worden uit GPS-data en GIS bronnen. Voor hun studie werd een student gevraagd om 60 verplaatsingen uit de 'Transportation Tomorrow Survey' van Toronto exact te herhalen terwijl hij een GPS-ontvanger bij zich droeg. De nauwkeurigheid waarmee achteraf het vervoermiddel bepaald kon worden bleek 92% te zijn. In totaal werd 79% van de gemaakte trips juist uit de GPS-data afgeleid, waarbij de ontbrekende gegevens vooral te wijten waren aan het missen van GPS-data.

### 3. Integratie van GIS, GPS en een webapplicatie

#### 3.1 De keuze voor een integratie van GPS, GIS en een webapplicatie

Het onderzoeksinstituut OTB ontwikkelt op dit moment een nieuwe methode waarmee het verplaatsingsgedrag van individuen gedetailleerd in kaart kan worden gebracht. Zowel vertrek- en aankomsttijden van ritten, afgelegde afstanden, het type en de locatie van vertreklocaties en bestemmingen en de vervoermiddelen waarmee men gereisd heeft, zullen met deze methode verzameld kunnen worden. Voor de dataverzameling wordt gebruik gemaakt van een handheld GPS-ontvanger en een aan een PostGIS-database gekoppelde webapplicatie waarin respondenten aanvullende informatie over hun verplaatsingsgedrag kunnen geven (zie figuur 1.). De drie delen waaruit de methode bestaat, zullen in de volgende paragrafen uitvoerig beschreven worden.



Figuur 1. Het verwerkingsproces van de GPS-data

#### 3.2 De GPS-ontvanger

Door in het project te kiezen voor een GPS-ontvanger van een kleine Nederlandse aanbieder is het mogelijk om de instellingen van de GPS-ontvanger zo te laten programmeren dat de ontvanger zo effectief mogelijk gebruikt kan worden.

Om zoveel mogelijk energie te besparen is ervoor gekozen de ontvanger niet elke seconde gegevens te laten loggen, maar één keer per vijf seconden, wat voor het analyseren van verplaatsingspatronen ook voldoende is. Daarnaast worden onnodige menu's en verlichting van het scherm van de ontvanger uitgeschakeld. De accu van de gekozen

ontvanger kan hierdoor ongeveer 16 uur meegaan. In de meeste gevallen zal dit voldoende zijn om alle trips van één dag te loggen. 's Avonds moeten de respondenten de ontvanger via hun computer of een stopcontact opladen.

Een mogelijkheid ter verbetering van de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling die veel GPS-ontvangers, waaronder de gekozen ontvanger, bieden, is het inschakelen van DGPS (Differential GPS). Wanneer DGPS is ingeschakeld wordt er naast de signalen van satellieten ook gebruik gemaakt van signalen van een tweede GPS-ontvanger op aarde. De ontvanger waar dan contact mee wordt gemaakt bevindt zich op een vaste basis, waarvan de exacte locatie bekend is, waardoor afwijkingen in de ontvangst van satellieten door de eerst GPS-ontvanger gecorrigeerd kunnen worden (CMTINC.COM, 2000).

Tenslotte is het ook mogelijk om onnauwkeurige data uit de GPS-logs te filteren door alleen coördinaten op te slaan wanneer er een redelijk betrouwbare plaatsbepaling mogelijk is. Omdat satellieten om de aarde draaien, is er op elk moment van de dag een ander constellatie van satellieten waarvan op een bepaalde plaats op aarde signalen ontvangen kunnen worden. De geometrie van een constellatie bepaalt in welke mate door andere factoren zoals multipath-problemen veroorzaakte meetfouten (zie paragraaf 2.2) verminderd of versterkt worden.

### **3.3 De PostGIS-database**

Er is voor gekozen om een deel van de aanvullende informatie te verkrijgen door de GPS-data in een PostGIS database aan GIS data te koppelen. Uit de eerder beschreven experimenten met GPS, blijkt dat het op een voor de respondenten eenvoudige wijze verkrijgen van nauwkeurige, aanvullende informatie cruciaal is voor de kwaliteit van de uiteindelijke data. Door het benutten van aanwezige GIS-data kan al een groot deel van de aanvullende informatie zonder inbreng van de respondenten verkregen worden.

Een GPS-ontvanger kan verschillende gegevens in een file wegschrijven. Ten eerste uiteraard de x- en y- coördinaten en het bijbehorende tijdstip van de locatie waarop de GPS-ontvanger zich steeds na een vooraf bepaalde interval bevond. Maar daarnaast zijn er ook gegevens beschikbaar over de kwaliteit van de ontvangst van de satellieten op het moment van loggen. Hiermee kan de betrouwbaarheid van de gelogde gegevens bepaald worden.

Om de benodigde informatie over het verplaatsingsgedrag van respondenten uit de gelogde gegevens af te kunnen leiden worden ze in een ruimtelijke database (PostGIS) geplaatst en geanalyseerd. In de database kunnen willekeurige GIS-operaties op de gegevens

wordenuitgevoerd. Door het uitvoeren van een reeks operaties op de gegevens is het mogelijk de ruwe GPS-data op te schonen en te verrijken met extra informatie.

Een aantal mogelijke operaties zijn:

*a. Het verwijderen van onbetrouwbare trackpoints*

Als eerste wordt bepaald welke gegevens betrouwbaar zijn. Een GPS-log bestaat uit een hele rij puntjes, de zogenaamde ‘trackpoints’. In de GPS-ontvanger is in te stellen om de hoeveel tijd er een trackpoint in de log wordt neergezet. Elk trackpoint wordt in de log beschreven aan de hand van x- en y – coördinaten en het tijdstip waarop de GPS-ontvanger zich op deze coördinaten bevond. Daarnaast kunnen ook het aantal satellieten waarvan signalen werden opgevangen en de snelheid van de ontvanger op het moment van loggen in de log worden opgeslagen. Hierdoor kunnen trackpoints die gelogd zijn met ontvangst van te weinig satellieten of met een niet reëel hoge snelheid verwijderd worden.

*b. De opsplitsing in ritten*

Nadat de meest onbetrouwbare trackpoints verwijderd zijn, wordt de log die eerst bestaat uit één lang rit, bij benadering opgedeeld in het aantal ritten dat werkelijk gemaakt is. Welke delen van de log als afzonderlijke ritten beschouwd moeten worden, wordt afgeleid uit stilstand door de respondent, het wegvallen van de ontvangst van satellieten in gebouwen en veranderingen in snelheid van de respondent. Multi-modaal vervoer, wordt opgesplitst in meerdere ritten, waardoor treinstations en bushaltes als aparte bestemming zijn opgenomen. Wanneer men dus met de fiets naar het station gaat, vervolgens de trein neemt en lopend naar het werk gaat, zijn dit drie ritten.

*c. Het bepalen van de locatie van bestemmingen en de tijdstippen waarop gereisd is*

Wanneer de log is opgesplitst in afzonderlijke ritten, volgen hieruit vanzelf de tijdstippen en locaties waar(op) ritten zijn begonnen en geëindigd. Als immers bekend is welk trackpoint als eerste is geplaatst op een locatie waar men langer gebleven is, dan is ook bekend hoe laat men daar aangekomen is en wat de x- en y-coördinaten van het betreffende punt zijn. Uit het eerste trackpoint dat weer een eindje van de locatie waar men verbleef, geplaatst is, kan de vertrektijd worden afgelezen.

Eén van de tekortkomingen die de huidige generatie GPS-ontvangers nog heeft is dat het, nadat de ontvanger uit heeft gestaan of binnen geen ontvangst heeft gehad, vaak even

duurt voordat een GPS voldoende satellieten gevonden heeft en voldoende signalen ontvangt om zijn locatie te bepalen (een zogenaamde ‘fix’ heeft gekregen). Hierdoor komt het vaak voor dat het vertrek van een locatie niet gelogd is. Meestal duurt het maximaal 30 seconden voordat de GPS-ontvanger een fix heeft. Uiteraard kan worden aangenomen dat de locatie die de bestemming is van een rit, de herkomst is van de eerstvolgende rit. Wanneer het begin van een rit niet gelogd is kan het tijdstip van vertrek bij benadering afgeleid worden uit de afstand tussen de herkomst en de plek waar het loggen begonnen is en de snelheid waarmee in het wel gelogde deel van de rit gereisd is.

*d. De bepaling van het vervoermiddelengebruik*

Voor het bepalen van het type vervoermiddel waarmee een rit is gemaakt kunnen verschillende gegevens gebruikt worden. Ten eerste kan uit de GPS-data worden afgeleid met welke snelheid ritten gemaakt zijn door de tijd die een rit heeft gekost te delen door de afstand die afgelegd is. Op basis van de gemiddelde en maximale snelheid kan in de meeste gevallen al bepaald worden of men heeft gelopen of gefietst.

Voor het bepalen of men met het openbaar vervoer of met de auto heeft gereisd is een koppeling aan GIS-data nodig, omdat de snelheden van deze vervoermiddelen weinig van elkaar kunnen verschillen. Door de afgelegde route te vergelijken met de locatie van stations, spoorwegen en wegen via onderliggende GIS-kaarten, kan bepaald worden of men waarschijnlijk over de weg of met de trein gereisd is.

Tenslotte kan er ook voor gekozen worden vooraf een kleine enquête te houden om de respondenten enkele basisvragen te stellen over bijvoorbeeld het bezit en de beschikbaarheid van een auto en het bezit van een openbaar vervoerkaart. Deze gegevens zouden dan meegenomen kunnen worden in kansberekeningen betreffende het vervoermiddelengebruik van de respondenten. Van iemand met een openbaar vervoerkaart is immers te verwachten dat hij/zij van het openbaar vervoer gebruik maakt. En een lid van een huishouden met twee auto's en een rijbewijs zal waarschijnlijk relatief vaak een auto gebruiken.

*e. De bepaling van de categorie waartoe de bestemming behoort*

GIS-data zijn ook nodig voor het inschatten van de categorie waartoe bezochte bestemmingen behoren. Alle mogelijke bestemmingen worden gecategoriseerd in 13 categorieën als ‘huis’, ‘werk’, ‘vrienden/familie’ en ‘cultuur’.

Omdat de woonadressen van respondenten al bekend zijn (hier zijn immers de GPS-ontvangers afgeleverd en opgehaald) kunnen deze in de database worden ingevoerd, waardoor als een rit van een respondent binnen korte afstand van zijn woning eindigt, met een grote waarschijnlijkheid kan worden aangenomen dat hij naar huis is gegaan. Andere frequent bezochte locaties als de werklocatie zouden eventueel ook in een voerenquête gevraagd kunnen worden.

Overige typen bestemmingen als winkels en voorzieningen worden deels afgeleid uit de persoonskenmerken en deels door confrontatie met onderliggende GIS-kaarten waarop winkelcentra en voorzieningen zijn aangegeven. Als een rit binnen een straal van ongeveer 50 meter van een bekende locatie (bijvoorbeeld een winkelcentrum of school) eindigt, wordt aangenomen dat deze locatie bezocht is. Het kan echter ook voorkomen dat er meerdere bekende locaties binnen 50 meter liggen. In dat geval kan automatisch gekozen voor de dichtstbijzijnde locatie, maar het is ook mogelijk locaties waarden toe te kennen, waardoor wanneer bijvoorbeeld een supermarkt net iets verder van het eind van een log ligt dan een politiebureau, er in eerste instantie toch vanuit wordt gegaan dat de supermarkt bezocht is. Daarnaast kan ook de respondent zelf per type bestemming een waarde toegekend worden, die in de kansberekening wordt meegenomen. Waardoor bijvoorbeeld van mensen met kinderen in de basisschool leeftijd eerder wordt geschat dat ze een basisschool bezocht hebben dan van mensen zonder kinderen.

Wanneer zowel uit de onderliggende GIS-kaarten als uit al bekende gegevens van de respondent geen mogelijke bestemmingscategorie gefilterd kan worden, zal de categorie van de bestemming in de database op 'onbekend' blijven staan totdat de respondent in de webapplicatie heeft aangegeven in welke categorie de bezochte bestemming valt.

### **3.4 De gebruikersinterface van de webapplicatie**

Nadat de door de GPS-ontvanger geregistreerde verplaatsingsgegevens verwerkt en bij benadering ingeschat zijn in de database, worden ze aan de respondenten gepresenteerd in de gebruikersinterface van de webapplicatie.

Het voordeel van het gebruik van internet is dat er tijdens het invullen interactie met de database kan plaatsvinden, waardoor nieuw ingevulde gegevens direct weer gebruikt kunnen worden voor een verbeterde inschatting van het verplaatsingsgedrag op latere momenten. Daarnaast zijn er door de uitwisseling van gegevens via internet geen bezorg- en



data-entrykosten. De respondenten zullen ongeveer een half uur nodig hebben om hun verplaatsingsgegevens aan te vullen.

De respondenten worden enkele dagen na de periode dat ze met een GPS-ontvanger hebben gelopen om aanvullende informatie gevraagd om zo optimaal van de mogelijkheden van GIS gebruik te kunnen maken. Het real-time verwerken van GPS-data in een GIS-module is nog niet goed mogelijk vanwege de doorlooptijd van de verwerkingen. Een bijkomend voordeel is dat de respondenten hierdoor tijdens de dagen waarop hun verplaatsingsgedrag geregistreerd wordt, er alleen voor hoeven te zorgen dat ze de ontvanger bij zich hebben en dat hij opgeladen is.

In de webapplicatie worden de verplaatsingsgegevens van de respondenten per dag afgebeeld. Centraal in het scherm staan een kaart waarin de respondenten per dag al hun ritten en bezochte locaties afgebeeld zien en een tabel waarin op elke regel de herkomstlocatie, de vertrektijd, het gebruikte vervoermiddel, de aankomsttijd en de bestemmingslocatie van een rit (zie figuur 2). De bestemmingslocaties zijn gecategoriseerd benoemd (werk, winkels, etc.).

The screenshot displays a web application interface for trip management. At the top, there are navigation buttons for 'terug naar vorige dag' and 'naar volgende dag', and a date indicator 'dinsdag, 4 april 2006'. Below this is a table with columns for 'nr.', 'vertrektijd', 'aankomsttijd', 'bestemming', 'vervoermiddel', and 'selectie'. The table contains four rows of trip data. Below the table is a map of Delft, showing various districts and landmarks. To the left of the map is a sidebar with 'bewerking trips' (edit trips) and 'vervoerwijze' (transport mode) sections. The 'bewerking trips' section includes buttons for 'verschuif een bestemming', 'splits een trip op in een tweetal trips', 'voeg een ontbrekende trip toe', and 'voeg twee of meer trips samen'. The 'vervoerwijze' section has two columns: 'vervoerwijze' and 'categorie', each with a list of options and radio buttons for selection.

nr.	vertrektijd	aankomsttijd	bestemming	vervoermiddel	selectie
1	09:44	09:48	werk	fiets	<input type="checkbox"/>
2	15:29	15:33	winkel(s)	fiets	<input type="checkbox"/>
3	17:41	17:59	onbekend	bus/tram/metro	<input type="checkbox"/>
4	20:01	20:12	onbekend	auto	<input checked="" type="checkbox"/>

Figuur 2. Een screenshot van de gebruikersinterface van de webapplicatie

De respondenten worden gevraagd om van elke dag de gegevens in de tabel en de locatie van hun bestemmingen op de kaart te controleren en indien nodig te corrigeren en/of aan te vullen. De kaart en de tabel in het gebruikersscherm van de webapplicatie zijn dynamisch aan elkaar

gekoppeld. Wanneer een verplaatsing in de tabel wordt geselecteerd, wordt dezelfde verplaatsing in de kaart uitgelicht en andersom. Dit geldt ook voor aanpassingen van de gegevens, wanneer in één deel van het scherm iets wordt gewijzigd, werkt dit door in het andere deel van het scherm. Daarnaast is ook de koppeling met de PostGIS-database interactief: alle veranderingen in het gebruikersscherm van de webapplicatie worden ook doorgevoerd in de database en mogelijk gebruikt voor het verbeterd inschatten van volgende ritten.

De volgende acties kunnen door de respondenten uitgevoerd worden:

*a. Het aanpassen van de categorie van de bestemming en het gebruikte vervoermiddel*

De categorieën van de bestemmingslocaties en het type vervoermiddel dat gebruikt is, zijn in de tabel via een dropdown menu aan te passen. Wanneer de respondent gegevens aanpast, worden deze aanpassingen aan de aan de webapplicatie gekoppelde database doorgegeven, waarna de nieuwe gegevens gebruikt worden voor een nog betere schatting van het verplaatsingsgedrag op de dagen na de aanpassing. Als een respondent bijvoorbeeld op de eerste dag aangeeft dat hij op een bepaalde locatie zijn kind naar school heeft gebracht, zal in de volgende dagen een bezoek aan dezelfde locatie van een verplaatsing naar een ‘onbekende’ locatie in de tabel veranderen in een verplaatsing naar een locatie met de categorie ‘school’. Uiteraard behoudt de respondent de mogelijkheid respondent om later deze categorie opnieuw aan te passen.

*b. Het splitsen en samenvoegen van ritten*

Het kan voorkomen dat in de database een rit ten onrechte in twee ritten is opgesplitst, bijvoorbeeld omdat iemand lang op één plek in een file heeft stil gestaan. Wanneer zoiets gebeurd is, kan dit gecorrigeerd worden door de twee ritten samen te voegen.

Het splitsen van een rit kan nodig zijn wanneer iemand ergens zo kort gestopt is, voor bijvoorbeeld een snelle boodschap, dat het systeem deze stop niet als ‘bestemming’ herkend heeft.

*c. Het verplaatsen van bestemmingen*

Wanneer een GPS-ontvanger te vroeg is gestopt met het loggen van een rit, bijvoorbeeld, omdat de accu van de ontvanger leeg is geraakt, is het mogelijk om de locatie van een

bestemming te verschuiven door op de kaart op het bolletje behorende bij de betreffende bestemming te klikken en deze naar de juiste bestemming te verschuiven.

#### *d. Het toevoegen van ritten*

Tenslotte is het ook mogelijk om hele ritten toe te voegen. Dit kan nodig zijn wanneer een respondent een keer vergeten is zijn GPS-ontvanger mee te nemen of, omdat om een bepaalde reden de ontvangst van de ontvanger heel erg slecht is geweest.

## **4. Conclusie**

Uit verschillende pilots en experimenten is al gebleken dat GPS in de toekomst veel voor dataverzameling ten behoeve van analyses van verplaatsingsgedrag kan betekenen. Dataverzameling via GPS is veel nauwkeuriger en minder belastend voor respondenten dan traditionele methoden van dataverzameling. Op dit moment kennen methodes die gebruik maken van GPS nog wel enige gebreken, maar het is te verwachten dat een groot deel hiervan op korte termijn door technologische ontwikkelingen zal worden opgelost.

Ontvangers hebben ongeveer de grootte van een mobiele telefoon, dus respondenten hebben wel een zak of tas nodig om hem mee te kunnen nemen. Ook de noodzaak om de ontvangers regelmatig op te laden is belastend voor de respondenten. Maar omdat de ontvangers steeds kleiner en lichter worden en de accu's een grotere capaciteit krijgen, terwijl de ontvangers minder energie gaan verbruiken, zullen deze nadelen verminderen.

Een belangrijk nadeel van het gebruik van GPS is dat niet alle informatie die nodig is voor het in kaart brengen van verplaatsingspatronen via GPS geregistreerd kan worden. Ten eerste wordt vaak niet de hele rit geregistreerd doordat ontvangers een opwarmtijd hebben voordat ze signalen ontvangen en omdat de ontvangst geblokkeerd kan worden door bijvoorbeeld hoge gebouwen. Technologische ontwikkelingen zorgen ervoor dat deze problemen steeds minder voorkomen. Sommige ontvangers hebben nu zelfs al ontvangst in gebouwen. Ten tweede is het lastig te voorkomen dat respondenten de ontvanger af en toe vergeten. Informatie die altijd zal missen bij registratie via GPS is informatie over het type locaties dat bezocht is en het vervoermiddelengebruik.

Uit de literatuur blijkt dat er door onderzoekers nog flinke stappen genomen moeten worden in het verkrijgen van de benodigde aanvullende informatie. In pilot-studies naar dataverzameling via GPS is geëxperimenteerd met verschillende manieren van het

verzamelen van aanvullende informatie van respondenten: achteraf of gedurende de dagen van het veldwerk, en op papier, via internet, telefonisch of door koppeling met een PDA. Het is ook mogelijk om een deel van de benodigde informatie met behulp van GIS-gegevens af te leiden. Wanneer de route van een respondent bekend is, kan via kaarten van spoorwegen en wegen gezien worden of men zich over het spoor en dus met de trein verplaatst heeft. Wanneer locaties van voorzieningen bekend zijn, kunnen deze vergeleken worden met de coördinaten van de locaties die de respondenten bezocht hebben.

Bij de methode die op dit moment door het onderzoeksinstituut OTB ontwikkeld wordt, is er voor gekozen de respondent tijdens de periode dat zijn verplaatsingsgedrag geregistreerd wordt, alleen een GPS-ontvanger bij zich te laten dragen. Na afloop van deze periode wordt gevraagd via een webapplicatie aanvullende informatie te geven. De last voor de respondent wordt zoveel mogelijk beperkt door de gelogde data voordat de respondent ze te zien krijgt, eerst met behulp van GIS-data te bewerken. Er wordt zo optimaal mogelijk gebruik gemaakt van het feit dat er in Nederland, in tegenstelling tot in veel andere landen, zeer gedetailleerde digitale ruimtelijk data beschikbaar is.

Afsluitend kan geconcludeerd worden dat op dit moment GPS en ook GIS een significante bijdrage beginnen te leveren aan de verzameling van data over het verplaatsingsgedrag van individuen. Echter wanneer de huidige (technologische) ontwikkelingen doorgaan en methodes voor het verzamelen van de benodigde aanvullende informatie als de in dit paper beschreven methode verder ontwikkeld worden, is te verwachten dat in de nabije toekomst dataverzameling via papieren dagboekjes zelfs in zijn geheel zal verdwijnen en plaats zal maken voor methodes waarin data met behulp van GPS verzameld wordt.

De auteurs willen Falk, Demis en Amaryllo danken voor hun bijdragen aan het GPS-project.

## Referenties

- Bachu, P.K., T. Dudala en S.M. Kothuri (2001). *Prompted Recall in a GPS Survey: a proof-of-concept study*, Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 7-11.
- Chung, E-H. en A. Shalaby (2005). A trip reconstruction tool for GPS-based personal travel surveys. *Transportation Planning and Technology*, 28 (5), 381-401.
- CMTINC.COM (2000), *Introduction to the Global Positioning System for GIS and TRAVERSE*, <http://cmtinc.com/gpsbook/>.
- Draijer G., N. Kalfs en J. Perdok (2000), Global Positioning System as data collection method for travel research. *Transportation Research Record* 1719: 147-153.
- Forest, T.L. en D.F. Pearson (2005). *A comparison of trip determination methods in GPS-enhanced household travel surveys*, Paper presented at the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 9-13.
- Kochan, B., Bellemans, T., Janssens, D. en G. Wets (2006), Dynamic activity-travel diary data collection, using a GPS-enabled personal digital assistant. *Paper presented at the Innovations in Travel Modelling Conference*, May 21-23, Austin, U.S.A.
- Lee-Gosselin, M. (2002), *Some reflections on GPS-supported travel survey methods in an increasingly ICT-rich environment*. Arlington (presented).
- Ohmori, N., M. Nakazato en N. Harata (2005), GPS mobile phone-based activity diary survey. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 1104-1115.
- Schönfelder, S., K.W. Axhausen, N. Antille, M. Bierlaire (2002), Exploring the potentials of automatically collected GPS data for travel behaviour analysis - a swedish data source, in J. Möltgen, and A. Wytzisk (Eds.) *GI-Technologien für Verkehr und Logistik, IfGIprints*, 13, Institut für Geoinformatik, Universität Münster, Münster, 155-179.
- Steer Davies Gleave and Geostats (2003), The use of GPS to improve travel data, study report. *Prepared for the DTLR New Horizons Programme, submitted to the London Department for Transport*.
- Waag Society (2002), *Amsterdam realtime*, <http://realtime.waag.org>.
- Wolf, J., R. Guensler en W. Bachman (2001). Elimination of the travel diary: an experiment to derive trip purpose from GPS travel data, *Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., January 7-11.
- Wolf, J., M. Oliveira en M. Thompson (2003). Impact of underreporting on mileage and travel time estimates: results from Global Positioning System-enhanced household travel survey. *Transportation Research Record*, 1854, 189-198.